

# **Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)**

International application number: PCT/JP05/002417

International filing date: 17 February 2005 (17.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP  
Number: 2004-042044  
Filing date: 18 February 2004 (18.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 20 May 2005 (20.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2004年 2月 18日

出願番号  
Application Number: 特願 2004-042024

パリ条約による外国への出願  
に用いる優先権の主張の基礎  
となる出願の国コードと出願  
番号  
The country code and number  
of your priority application,  
to be used for filing abroad  
under the Paris Convention, is

出願人  
Applicant(s): 株式会社荏原製作所

2005年 4月 27日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小川



【書類名】 特許願  
【整理番号】 040296  
【提出日】 平成16年 2月18日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 C25B  
【発明者】  
　【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社荏原製作所内  
　【氏名】 白沢 至  
【発明者】  
　【住所又は居所】 神奈川県藤沢市本藤沢4丁目2番1号 株式会社荏原総合研究所  
　【氏名】 横田 洋  
【発明者】  
　【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社荏原製作所内  
　【氏名】 内野 章  
【発明者】  
　【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社荏原製作所内  
　【氏名】 早川 淳一  
【特許出願人】  
　【識別番号】 000000239  
　【氏名又は名称】 株式会社荏原製作所  
【代理人】  
　【識別番号】 100089705  
　【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目2番1号 新大手町ビル206区  
　ユアサハラ法律特許事務所  
　【弁理士】  
　【氏名又は名称】 社本 一夫  
　【電話番号】 03-3270-6641  
【選任した代理人】  
　【識別番号】 100075236  
　【弁理士】  
　【氏名又は名称】 栗田 忠彦  
【選任した代理人】  
　【識別番号】 100092015  
　【弁理士】  
　【氏名又は名称】 桜井 周矩  
【選任した代理人】  
　【識別番号】 100092886  
　【弁理士】  
　【氏名又は名称】 村上 清  
【選任した代理人】  
　【識別番号】 100102727  
　【弁理士】  
　【氏名又は名称】 細川 伸哉  
【選任した代理人】  
　【識別番号】 100112634  
　【弁理士】  
　【氏名又は名称】 松山 美奈子

【選任した代理人】

【識別番号】 100114904

【弁理士】

【氏名又は名称】 小磯 貴子

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 051806

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 特許請求の範囲 1

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0201070

**【書類名】特許請求の範囲**

**【請求項 1】**

固体酸化物電解質を隔膜として用いて電解槽を陽極側と陰極側に仕切った高温水蒸気電解装置の陰極側に水蒸気を供給し、陽極側に還元性ガスを供給して高温で水蒸気電気分解を行うことによって水素を製造するシステムにおいて、陽極側に供給する還元性ガス及び陰極側に供給する水蒸気の少なくとも一方を昇温させる手段を具備することを特徴とする水素製造システム。

**【請求項 2】**

固体酸化物電解質を隔膜として用いて電解槽を陽極側と陰極側に仕切った高温水蒸気電解装置の陰極側に水蒸気を供給し、陰極側に還元性ガスを供給して高温で水蒸気電気分解を行うことによって水素を製造するシステムにおいて、高温水蒸気電解装置の陽極側から排出される高温の排ガス及び陰極側から排出される高温の水素含有ガスの少なくとも一方から熱を回収する手段を具備することを特徴とする水素製造システム。

**【請求項 3】**

固体酸化物電解質を隔膜として用いて電解槽を陽極側と陰極側に仕切った高温水蒸気電解装置の陰極側に水蒸気を供給し、陽極側に還元性ガスを供給して高温で水蒸気電気分解を行うことによって水素を製造するシステムにおいて、高温水蒸気電解装置の陽極側から排出される高温の排ガス及び陰極側から排出される高温の水素含有ガスの少なくとも一方から熱を回収する手段と、回収された熱を用いて高温水蒸気電解装置の陽極側に供給する還元性ガス及び陰極側に供給する水蒸気の少なくとも一方を昇温させる手段とを具備することを特徴とする水素製造システム。

**【請求項 4】**

固体酸化物電解質を隔膜として用いて電解槽を陽極側と陰極側に仕切った高温水蒸気電解装置の陰極側に水蒸気を供給し、陽極側に還元性ガスを供給して高温で水蒸気電気分解を行うことによって水素を製造するシステムにおいて、高温水蒸気電解装置の陽極側に供給する還元性ガス及び陰極側に供給する水蒸気の少なくとも一方の温度を調整すると共に、高温水蒸気電解装置の陽極側から排出される高温の排ガス及び陰極側から排出される高温の水素含有ガスの少なくとも一方から熱を回収する手段を具備することを特徴とする水素製造システム。

**【請求項 5】**

高温水蒸気電解装置の陽極側に供給される還元性ガスの一部を分岐して燃焼させ、その燃焼熱によって残りの還元性ガスを加熱して高温水蒸気電解装置の陽極側に供給する請求項1～4のいずれかに記載の水素製造システム。

**【請求項 6】**

廃棄物類処理施設、発電所、熱利用施設又は都市インフラ施設から発生する廃熱、工業炉からの熱、工場からの熱或いは炭鉱施設から発生する熱を、高温水蒸気電解装置の陽極側に供給する還元性ガス及び水蒸気の少なくとも一方を加熱する熱源として利用することを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の水素製造システム。

**【請求項 7】**

高温水蒸気電解装置に供給する電力を外部から供給することを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の水素製造システム。

**【請求項 8】**

製造される水素ガスと同伴する水蒸気を凝縮器で凝縮水として回収し、回収された水を高温水蒸気電解装置に供給する高温水蒸気を製造するための原水として用いる請求項1～4のいずれかに記載の水素製造システム。

**【請求項 9】**

高温水蒸気電解装置の陽極側から排出される排ガスを燃焼させ、その燃焼熱を熱交換器で熱回収して、回収された熱を高温水蒸気電解装置の陽極側に供給する還元性ガス及び陰極側に供給する水蒸気の少なくとも一方の加熱源として利用することを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の水素製造システム。

**【請求項 10】**

当該水素製造システムによって製造される水素ガスを燃料として用いる燃料電池発電装置からの廃熱を、高温水蒸気電解装置の陽極側へ供給する還元性ガス及び陰極側に供給する水蒸気の少なくとも一方の加熱源として利用することを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の水素製造システム。

**【請求項 11】**

高温水蒸気電解装置の陰極側から排出される高温の水素含有ガスから水蒸気を除去することによって高温の水素ガスを得、これをガス動力回収器にかけることによって高温水素ガスの熱エネルギーを動力若しくは電力として回収することを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の水素製造システム。

**【請求項 12】**

高温水蒸気電解装置の陰極側から排出される高温の水素含有ガスを蒸気タービンに供給することによって高温水素含有ガスの熱エネルギーを動力若しくは電力として回収することを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の水素製造システム。

【書類名】明細書

【発明の名称】固体酸化物電解質を用いた水素製造システム

【技術分野】

【0001】

本発明は、固体酸化物電解質を隔膜として用いて電解槽を陽極側と陰極側に仕切った高温水蒸気電解装置の陰極側に水蒸気を供給し、陽極側に還元性の高温ガスを供給して高温で水蒸気電気分解を行うことによって水素を製造するシステムに係わるものである。

【背景技術】

【0002】

水素と一酸化炭素を主成分とする還元性ガスは、一酸化炭素を水蒸気改質で水素化した後に水素を分離精製して化学工業用や燃料電池用燃料などに有効に利用できる。しかし、最近実用化に近い技術として期待されている高分子電解質燃料電池では白金を触媒として使用しているために燃料の水素中に含まれる一酸化炭素をほぼゼロにする必要があり、高純度水素を得るためにガス改質・精製が煩雑であり操作性や経済性が問題となる。また、熱分解ガスで発電した電力を利用する電解法では比較的簡単な構成で高純度の水素が得られるが、電力消費が極めて大きい。これらの水素製造法に対して、水蒸気を800℃程度の高温で電解することによって、熱エネルギーを水の分解に利用することで電解電圧を下げて電解電力の低減を図る高温水蒸気電解法がある。しかしながら、この方法でもなお水の分解エネルギーの60%以上を電力で補う必要がある。この高温水蒸気電解法の改善策として、米国特許6,051,125では、電解槽の陽極に天然ガスを供給して陽極側への酸素移動に要する電解電圧を低下せしめる方法が提案されているが、この方法は高価な天然ガスを消費する欠点があるのみならず天然ガスと酸素の反応で析出する炭素による電極の汚染を防止する対策が必要になるなどで、実用上問題がある。

【0003】

かかる課題を解決するための手段として、本発明者らは、先に、(1)廃木材・生ごみなどのバイオマスの熱分解ガスが水素と一酸化炭素を主成分とする還元性ガスであること、(2)高温水蒸気電解槽の陽極側に(1)の還元性ガスを供給して陽極側で酸素イオンと反応させることにより電解電圧を大幅に下げ得ること、(3)水素と一酸化炭素を主成分とする(1)の還元性ガスの酸化反応では炭素の析出がなく電極を汚染する恐れがないこと、などの諸事実に着目して、上記還元性ガスを高温水蒸気電解槽の陽極側に供給して、電解電圧を下げた水素の製造装置を提案し、特許出願した(特願2002-249754号)。当該特許出願で提案した発明は、固体酸化物電解質を隔膜として使用し、該隔膜を電解槽内に配置して電解槽を陽極側と陰極側とに仕切った高温水蒸気電解槽を用いて水蒸気の電気分解によって水素を製造するにあたって、電解槽の陰極側に高温の水蒸気を供給すると共に電解槽の陽極側に還元性ガスを供給することにより、電解槽の陰極側において水蒸気の電気分解によって生成した酸素イオンが固体酸化物電解質を通過して陽極側に移動し、そこで還元性ガスと反応することにより、酸素イオンの濃度匀配が生じて、これにより陽極側への酸素移動に要する電圧を低下せしめるというものである。かかる装置においては、700~800℃の高温で水蒸気を分解すると共に、陽極側での酸素の濃度匀配を生じさせることで、低い電圧で極めて効率のよい高純度水素の製造を可能にしている。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上記に説明した電解槽の陽極側に還元性ガスを供給するタイプの高温水蒸気電解方法においては、熱エネルギーと、還元性ガスによって形成される酸素の濃度匀配とによって、水蒸気の電解に必要な電圧を低減させることができることが実現可能となっている。よって、電解槽に供給する還元性ガス及び水蒸気を効率よく所望の温度まで昇温することが、エネルギー効率の観点から重要である。更に、電解槽から排出される排ガス及び水素含有ガスは、いずれも高温の状態で排出されるので、この排出ガス系が有する熱エネルギーを有効に利用す

ることも、エネルギー効率の観点から重要である。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明は、上記に説明した、固体酸化物電解質を利用した高温水蒸気電解槽の陽極側に還元性ガスを供給するという構成の水素製造装置を用いた水素製造システムにおいて、熱エネルギーの有効利用を実現することを目的とする。

【0006】

上記課題を解決する手段として、本発明の一態様は、固体酸化物電解質を隔膜として用いて電解槽を陽極側と陰極側に仕切った高温水蒸気電解装置の陰極側に水蒸気を供給し、陽極側に還元性ガスを供給して高温で水蒸気電気分解を行うことによって水素を製造するシステムにおいて、陽極側に供給する還元性ガス及び陰極側に供給する水蒸気の少なくとも一方を昇温させる手段を具備することを特徴とする水素製造システムに関する。

【0007】

また、本発明の他の態様は、固体酸化物電解質を隔膜として用いて電解槽を陽極側と陰極側に仕切った高温水蒸気電解装置の陰極側に水蒸気を供給し、陽極側に還元性ガスを供給して高温で水蒸気電気分解を行うことによって水素を製造するシステムにおいて、高温水蒸気電解装置の陽極側から排出される高温の排ガス及び陰極側から排出される高温の水素含有ガスの少なくとも一方から熱を回収する手段を具備することを特徴とする水素製造システムに関する。

【0008】

本発明の更に他の態様は、固体酸化物電解質を隔膜として用いて電解槽を陽極側と陰極側に仕切った高温水蒸気電解装置の陰極側に水蒸気を供給し、陽極側に還元性ガスを供給して高温で水蒸気電気分解を行うことによって水素を製造するシステムにおいて、高温水蒸気電解装置の陽極側から排出される高温の排ガス及び陰極側から排出される高温の水素含有ガスの少なくとも一方から熱を回収する手段と、回収された熱を用いて高温水蒸気電解装置の陽極側に供給する還元性ガス及び陰極側に供給する水蒸気の少なくとも一方を昇温させる手段とを具備することを特徴とする水素製造システムに関する。

【0009】

本発明の更に他の態様は、固体酸化物電解質を用いて電解槽を陽極側と陰極側に仕切った高温水蒸気電解装置の陰極側に水蒸気を供給し、陽極側に還元性ガスを供給して高温で水蒸気電気分解を行うことによって水素を製造するシステムにおいて、高温水蒸気電解装置の陽極側に供給する還元性ガス及び陰極側に供給する水蒸気の少なくとも一方の温度を調整すると共に、高温水蒸気電解装置の陽極側から排出される高温の排ガス及び陰極側から排出される高温の水素含有ガスの少なくとも一方から熱を回収する手段を具備することを特徴とする水素製造システムに関する。

【0010】

上記で、「固体酸化物電解質を隔膜として用いて電解槽を陽極側と陰極側に仕切った高温水蒸気電解装置の陰極側に水蒸気を供給し、陽極側に還元性ガスを供給して高温で水蒸気電気分解を行うことによって水素を製造するシステム」とは、言い換えれば、固体酸化物電解質の隔膜によって陽極側と陰極側に仕切られている電解槽と、還元性ガスを電解槽の陽極側に供給する管路と、水蒸気を電解槽の陰極側に供給する管路とを具備し、陽極と陰極に電力を印加することによって電解槽の陰極側で高温水蒸気の電解を行って水素を製造すると共に、陽極側で酸素を還元性ガスと反応させることによって酸素の濃度匀配を生じさせて電解電圧を低減させたシステムである。

【0011】

なお、本発明でいう「還元性ガス」とは、下記に説明する水蒸気電解槽において固体酸化物電解質膜を通して電解槽の陽極側に通過していく酸素と反応して、陽極側での酸素濃度を低下させることのできるガスを意味し、メタンガス（例えば、下水処理場、製鉄所の高炉から排出されるCOGガス、廃材や生ゴミ、バイオマスなどの熱分解ガス、コークス炉や高炉や石油プラントなどの副生ガスなどが含まれる）。

## 【0012】

図1に、本発明にかかる固体酸化物電解質膜を用いた高温水蒸気電解による水素の製造装置の基本原理を示す。

## 【0013】

高温水蒸気電解槽113は、固体酸化物電解質の隔膜114によって陽極側115と陰極側116に仕切られている。高温水蒸気119を電解槽の陰極側116に、還元性ガス110を電解槽の陽極側115に供給して、電力117をAC-DC変換器118で直流に変換して電解槽に通電すると、陰極側116に供給された高温水蒸気119は電解作用で水素と酸素に分解される。生成した水素120が、高純度水素として回収される。一方、生成した酸素121は、固体酸化物電解質の隔膜114を選択的に通過して、過電圧の駆動力によって陽極側115に移動する。陽極側115では、酸素121が還元性ガス110と反応して消費され、酸素イオンの濃度勾配が形成されるので、酸素が陽極側に移動するのに必要な電圧が下がり、電力消費量は大幅に低減される。即ち、酸素イオンの濃度勾配を生じさせることによって電解電圧の低減を図ることができる。

## 【0014】

本発明は、図1で説明したような、固体酸化物電解質の隔膜によって陽極側と陰極側とに仕切られた電解槽を用い、電解槽の陽極側に還元性ガスを陰極側に高温水蒸気を供給して、陽極及び陰極に電力を供給することによって、電解槽の陰極側で水蒸気の電気分解を行って水素を製造する装置を用いた水素製造システムにおいて、熱エネルギーの有効利用を実現することを目的とする。

## 【0015】

図2に本発明の一態様にかかる水素製造システムの概念をフロー図で示す。固体酸化物電解質の隔膜114によって陽極側115及び陰極側116に仕切られた高温水蒸気電解槽113の陽極側に還元性ガスを陰極側に高温水蒸気を供給し、電力をかけることによって水蒸気の電気分解を行い、陰極側から水素含有ガスが陽極側から排ガスが生成する。本発明の一態様にかかる水素製造システムは、陽極側に供給する還元性ガス及び陰極側に供給する水蒸気の少なくとも一方を昇温する手段を具備する。これによって、還元性ガス及び/又は水蒸気を高温水蒸気電解に必要な温度まで昇温させて供給することができる。また、本発明の他の態様にかかる水素製造システムでは、電解槽の陰極側から生成する水素含有ガス及び陽極側から生成する排ガスの少なくとも一方から熱を回収する手段を具備する。高温水蒸気電解槽からは、700～800℃の高温の水素含有ガス及び排ガスが生成する。したがって、これらの排出ガスが有する熱を回収して利用することによって、排熱の有効利用を図ることができる。

## 【0016】

なお、高温水蒸気電解装置の陽極側に供給される還元性ガスに、水分（水蒸気）を導入することによって、陽極への炭素の析出を抑制することもできる。

## 【0017】

また、図3には本発明の他の態様にかかる水素製造システムの概念をフロー図で示す。図3に示すシステムでは、水蒸気電解槽から生成する高温の水素含有ガス及び排ガスの少なくとも一方から、熱交換器及び熱媒体（例えば空気）を用いて熱を回収し、回収された熱を、電解槽に供給する水蒸気及び還元性ガスの少なくとも一方を昇温させるための熱交換器に供給する熱源として使用する。これによって、電解槽からの排熱を、電解槽への還元性ガス及び水蒸気の昇温に有效地に利用することができ、熱エネルギーの有効利用が図れる。

## 【0018】

なお、電解槽への還元性ガスとして、例えば高炉排ガスなどのように極めて高い温度のガスを用いる場合には、逆に電解槽へ供給する前に電解槽への適当な供給温度に温度調整してから供給することが好ましい。

## 【0019】

本発明の水素製造システムにおいて、電解槽に供給する水蒸気の発生に必要な熱源、及

び水蒸気並びに還元性ガスの昇温に必要な熱源としては、各種の廃棄物処理施設、発電所、熱利用施設、高温廃水の熱を利用する施設、例えば都市インフラ施設、工業炉からの熱、工場からの熱、炭鉱施設から発生する熱、或いは家庭、店舗等から排出される熱を利用することができます。ここで、廃棄物類処理施設としては、例えば、焼却炉、ガス化熔融炉、ガス化炉、RDF施設、RPF施設、廃プラスチック等の処理施設などが挙げられる。発電所としては、例えば、火力発電所、地熱発電所、水力発電所、中小水力発電所、太陽光発電所、風力発電所、廃棄物発電所、バイオマス類を原料とする発電所、燃料電池発電所等の発電施設が挙げられる。熱利用施設としては、例えば、太陽熱、バイオマス熱、燃料電池廃熱、超臨界熱利用施設等、ガスタービン・ガスエンジン・ガソリンエンジン・ディーゼルエンジン・スターリングエンジン等のエンジン類からの廃熱、地熱利用施設などが挙げられる。都市インフラ施設としては、例えば、上水処理施設、中水処理施設、下水処理施設といった水処理施設、ガス製造・貯蔵所・搬送施設といったガス供給施設、石油やガス、液化ガスのパイプライン施設などが挙げられる。工業炉としては、例えば、製鉄所の各種炉、コークス炉、セメント炉、窯業炉、各種の加熱・焼成炉、各種乾燥炉類、石炭ガス炉、高性能工業炉が挙げられる。工場としては、例えば、石油・石化・化学プラントやコンビナート、製紙工場、ガス田施設、地熱施設等が挙げられる。炭鉱施設としては、石炭等の炭鉱場類などが挙げられる。

#### 【0020】

また、本発明の水素製造システムにおいて、電解槽に供給する水蒸気として、上記の各種施設から発生する水蒸気を利用することができます。例えば、上記の廃棄物処理施設、火力発電所、地熱発電所、廃棄物発電所、バイオマス類を原料とする発電所、燃料電池発電所等、都市インフラ施設、各種工業炉、工場等からは、高温の水蒸気が排出される。この廃水蒸気を本発明にかかる水素製造システムにおいて使用する高温水蒸気電解装置に供給する水蒸気源として使用することができます。

#### 【0021】

次に、本発明にかかる水素製造システムの各種形態を図を参照して説明する。

図4は、本発明にかかる水素製造システムにおいて、製鉄所における排ガス、例えばコークス炉ガスを電解槽の陽極側に供給する還元性ガスとして用いて、燃料電池用途の水素ガスを製造する具体例を示す。

#### 【0022】

製鉄所で副生する高温ガス、例えばコークス炉からのCOGガスを前述の高温水蒸気電解装置に供給する還元性ガスの原料とし、同製鉄所内の各所から発生する廃熱を用いて熱交換器で水から高温水蒸気を製造し、これを高温水蒸気電解装置に供給する高温水蒸気として使用して、高純度の水素を製造することができます。

#### 【0023】

なお、水素製造装置に供給する電力としては、一般の幹線からの電力を用いてもよいし、製鉄所内の発電設備からの発電電力を用いてもよい。

#### 【0024】

図5は、本発明にかかる水素製造システムにおいて、下水処理場で発生する消化ガスを還元性ガスとして利用し、高温水蒸気を例えれば隣接する廃棄物焼却場の廃熱を利用して製造して、燃料電池用途の水素ガスを製造する具体例を示す。

#### 【0025】

下水処理場には、汚水等のメタン発酵処理装置が設置されており、ここでメタンを主成分とする消化ガス（バイオガス）が生成する。このバイオガスを、加熱手段によって昇温して、本発明にかかる高温水蒸気電解装置へ供給する還元性ガスとして利用することができます。一方、下水処理場内の廃熱を利用した加熱手段を用いて製造される高温水蒸気や外部から供給される高温水蒸気を高温水蒸気電解装置に供給することにより、燃料電池用途の高純度な水素が製造される。

#### 【0026】

なお、高温水蒸気は、例えれば、隣接する廃棄物焼却場の廃熱を利用した加熱手段によっ

て水から製造することができる。この際に供給される廃棄物焼却場の廃熱を、さらにメタン発酵装置用の加熱源として利用しても良い。

#### 【0027】

また、メタン発酵の際に発生する発熱を、消化ガス及び／又は水蒸気の加熱源もしくは水蒸気発生用の熱源として用いることもできる。なお、高温水蒸気電解装置に供給する電力は、一般の幹線からの電力でも良いし、下水処理場内の発電設備からの発電電力を利用してもよい。

#### 【0028】

図6は、本発明にかかる水素製造システムにおいて、農園、牧場等からの農畜産廃棄物をメタン発酵処理して生成する消化ガス（発酵メタンガス）を、加熱手段によって昇温した後に還元性ガスとして高温水蒸気電解装置へ供給して、燃料電池用途の水素を製造する具体例を示す。

#### 【0029】

農園、牧場等からの農畜産廃棄物を、メタン発酵装置によって処理して、メタンガスを主とした消化ガス（バイオガス）を生成させる。これを、還元性ガスとして、加熱手段によって適当な温度に昇温した後に、高温水蒸気電解装置に供給する。一方、高温水蒸気を高温水蒸気電解装置に供給することにより、燃料電池用途の高純度水素が製造される。

#### 【0030】

なお、高温水蒸気は、メタン発酵装置で発生する熱を熱源として発生及び／又は加熱してもよいし、また、外部から供給される高温水蒸気の一部を、メタン発酵装置の反応熱源として利用しても良い。

#### 【0031】

なお、水素製造装置に供給する電力としては、一般の電力でも良いし、当該農園・牧場内での発電電力を利用してもよい。

#### 【0032】

図7は、本発明にかかる水素製造システムにおいて、林業関連産業から排出される林業廃棄物（林業系バイオマス類）を発酵処理して生成する消化ガス（発酵メタンガス）を還元性ガスとして高温水蒸気電解装置に供給して、燃料電池用途の水素を製造する具体例を示す。

#### 【0033】

林業関連産業から排出される林業廃棄物（林業系バイオマス類）をメタン発酵装置で処理することで、メタンを主成分とする消化ガス（バイオガス）が製造される。製造されたバイオガスは、加熱手段で昇温されて高温の還元性ガスとして高温水蒸気電解装置に供給される。一方、外部から高温水蒸気を高温水蒸気電解装置に供給することにより、燃料電池用途の高純度水素が製造される。

#### 【0034】

なお、高温水蒸気は、メタン発酵装置で発生する熱を熱源としてもよいし、また、外部から供給される高温水蒸気の一部を、メタン発酵装置の反応熱源として利用しても良い。

なお、水素製造装置に供給する電力としては、一般の電力でも良いし、当該する山林等での発電電力を利用してもよい。

#### 【0035】

図8は、本発明にかかる水素製造システムにおいて、林業関連産業から排出される林業廃棄物（林業系バイオマス類）をガス化炉で処理してガス化ガスを製造し、製造されたガス化ガスを還元性ガスとして、ガス化炉で発生する廃熱を利用して熱交換器で昇温した後に還元性ガスとして高温水蒸気電解装置に供給して、燃料電池用途の水素を製造する具体例を示す。

#### 【0036】

林業関連産業から排出される林業系バイオマス類を原料として、ガス化炉によりメタンや一酸化炭素を主成分とするガス化ガスが製造される。製造されたガス化ガスは、ガス化炉の廃熱を加熱源とする熱交換器で加熱されて高温の還元性ガスとして、高温水蒸気電解

装置に供給される。一方、ガス化炉からの廃熱を利用して熱交換器によって高温水蒸気が製造され、この水蒸気を高温水蒸気電解装置に供給することにより、燃料電池用途の高純度水素が製造される。

【0037】

なお、高温水蒸気は、林業系バイオマス類の乾燥源として利用してもよいし、また、蒸気タービンに供給して、発電を行っても良い。

【0038】

なお、水素製造装置に供給する電力は、一般の電力でも良いし、水素製造装置を設置した施設内の発電電力を利用してもよい。

【0039】

図9は、本発明にかかる水素製造システムにおいて、石油・石化・化学プラント等から排出される廃油等を、ガス化炉で処理してガス化ガスを製造し、これを還元性ガスとして高温水蒸気電解装置に供給して燃料電池用途の高純度水素を製造する具体例を示す。

【0040】

石油・石化・化学プラントの廃油をガス化炉で処理して、ガス化ガスを得る。製造されたガス化ガスは、ガス化炉の廃熱を加熱源とする熱交換器で加熱されて高温の還元性ガスとして、高温水蒸気電解装置に供給される。一方、ガス化炉からの廃熱を利用した熱交換器によって高温水蒸気が製造され、製造された水蒸気を高温水蒸気電解装置に供給することにより、燃料電池用途の高純度水素が製造される。

【0041】

なお、高温水蒸気は、石油・石化・化学プラントの各種用途で利用してもよいし、また、蒸気タービンに供給して、発電を行っても良い。

【0042】

なお、高温水蒸気電解装置に供給する電力は、一般の電力でも良いし、石油・石化・化学プラント内の発電電力を利用してもよい。

【0043】

図10は、本発明にかかる水素製造システムにおいて、炭鉱ガス（炭鉱メタン、コールペッドメタン）を還元性ガスとして利用し、高温水蒸気を、炭鉱メタンを燃料とする蒸気ボイラー等で発生させて供給することによって、燃料電池用途の高純度水素を製造する具体例を示す。

【0044】

廃炭鉱等から排出されるメタンガスを含む炭鉱ガスの一部を蒸気ボイラーの燃料として供給し、蒸気ボイラーの廃熱を利用して熱交換器を介して、残りの炭鉱ガスを加熱して高温の還元性ガスとして、高温水蒸気電解装置に供給する。一方、廃熱ボイラーで製造された高温の水蒸気を高温水蒸気電解装置に供給することにより、燃料電池用途の高純度水素が製造される。

【0045】

なお、高温水蒸気は、例えば、地熱発電所からの水蒸気等を外部から供給しても良い。

また、高温水蒸気電解装置に供給する電力は、一般の電力でも良いし、上述の地熱発電所からの電力であっても良い。

【0046】

図11は、本発明における水素製造システムにおいて、システム内で発生する熱を多段階・複合的に利用して、熱利用効率を高めた具体例を示す。

【0047】

還元性ガス1は、ガス前処理設備2により脱硫等の前処理をした後、熱交換器3により加熱されて、高温水蒸気電解装置4の陽極側に供給される。一方、高温水蒸気5を高温水蒸気電解装置4の陰極側に供給し、直流電力50を電解装置4に供給することにより、水素と水蒸気の生成ガス13と、排ガス（オフガス）12を得る。水素と水蒸気の生成ガス13は凝縮器20により水素14と凝縮水21に分離され、水素14が製造される。

【0048】

なお、還元性ガス1としては、予め高温のガスを用いることもできる。

高温水蒸気電解装置4に供給する高温水蒸気5としては、外部から供給される高温水蒸気6や、純水7を図に示すようにシステム内の各所熱交換器を介して加熱して製造される水蒸気を用いることができる。

#### 【0049】

還元性ガス1や水蒸気の加熱する熱源として、高温水蒸気電解装置4から排出される残留メタン等を含む排ガス12を、廃棄燃料廃油10などと共に触媒燃焼器8で燃焼させて発生させた熱を用いることができる。触媒燃焼器8に空気等の熱媒体5を通して、加熱された熱媒体を熱交換器9、3を通すことによって、水蒸気や還元性ガスを加熱することができる。また、熱交換器9や熱交換器3等に上述の廃棄物廃棄物処理施設や、発電所等、熱利用施設等、都市インフラ施設、工業炉、工場等、炭鉱施設等からの廃熱40を供給して、加熱用の熱源として使用することもできる。熱交換器3で還元性ガス1の加熱用に熱が回収された熱媒体は、触媒燃焼器8を再度通して加熱した後、熱交換器11で、熱媒体を予熱する熱源として使用することができる。

#### 【0050】

高温水蒸気製造用の純水7としては、凝縮器20から回収される凝縮水21を用いてもよい。更に、凝縮器20で得られる凝縮水21を、加熱手段によって加熱して高温水蒸気6を製造することもできる。

#### 【0051】

なお、本発明において使用することの出来る還元性ガス1としては、メタン、消化ガス、ガス化ガス、工場等の廃油類を原料としガス化して得られる炭化水素などを挙げることができる。

#### 【0052】

直流電力源としては、上述の発電所等からの電力を直流化するか、或いは発電所等の直流電力を供給することができる。勿論、当該水素製造装置の系内で発電する電力を用いても良い。

#### 【0053】

本発明の水素製造システムでは、可燃性の合成ガスが還元性ガスとして利用できることから、石油系ガス、石炭系ガス、各種ガス化炉ガス、バイオガス、天然ガス、炭鉱ガス、ガス田ガス等からのガス類を還元性ガスとして利用することができるため、それらプラント類から副生される廃熱を熱源として高温水蒸気の製造を行うことにより、容易に、燃料電池用途等の高純度水素を製造することができる。燃料電池自動車が普及するなかで、大量の高純度水素の需要が要求されるが、本発明は、上述する従来のガスを還元性ガスとして使用することが可能であり、このことにより、地域に関係なく、全国的範囲で、高純度水素ガスを低価格で製造することにより、燃料電池自動車のより一層の普及を促進でき、地球温暖化ガス削減に寄与することができる。

#### 【0054】

本発明を、製鉄所に応用すれば、該製鉄所からの副生ガス、例えばコークス炉からのCOガスを還元性ガスとして使用すると共に、コークス炉等の製鉄所内の廃熱を利用して高温水蒸気を製造して、高温水蒸気電解装置に供給して、高純度水素が製造できる。

#### 【0055】

本発明を、下水処理場に応用すれば、該処理場からの消化ガスを還元性ガスとして用い、例えば、隣接する廃棄物焼却場の廃熱を熱源として水蒸気の製造や還元性ガスの加熱用に用いることによって、高純度水素が製造でき、例えば、廃棄物収集車や、処理場内の石化燃料を燃料とする設備を水素燃料に代替できる。

#### 【0056】

本発明を例えれば牧場に応用すれば、畜産廃棄物等のメタン発酵ガスと河川水等の水を原料として、山林地域で高純度水素が製造でき、農用機械等の燃料電池用の燃料としても供給が可能となる。また、港において、水産物類を原料としてバイオガスを得ることにより本発明により高純度水素ガスを製造し、港や船の燃料として供給することも可能である。

### 【0057】

また、山林地域で、林業系バイオマスを原料とするガス化炉設備からの生成ガスを原料とし、該炉の廃熱利用によって高温水蒸気を製造することにより、山林地域における燃料電池自動車等用の水素ガスを供給することができる。

### 【0058】

石油・石化・化学プラントが設置されている地域において本発明を使用して、例えば、プラントからの廃油をガス化炉により合成ガスに分解して還元性ガスとし、該ガス化炉またはプラントからの廃熱によって高温水蒸気を製造することにより、水素ガスを製造できる。製造された水素ガスは、燃料電池自動車用途として用いたり、例えば水添ガス化用原料水素としてプラント用途への再利用することも可能である。

### 【0059】

本発明によって製造される高純度水素を、液化設備を介し液化水素とし、液化水素を冷媒とする超電導パイプラインに供給し、電力の低損失搬送と併せ、液化水素の輸送を可能とすることも可能である。輸送される液化水素は、超電導パイプラインの任意の位置でパイプラインから分岐して、液化水素のままか、或いは液化水素から熱交換する水素ガス発生装置を介して水素ガスとして各需要家に供給することができる。なお、液化水素を常温の水素ガスにする水素ガス発生装置において、液化水素の冷熱を冷媒、例えは水に熱交換して、冷水を冷熱需要家に供給することも可能である。

### 【0060】

さらに、電力と併送する超電導信号線を敷設し、アナログやデジタルといった信号を低雑音で伝達する手段にも利用できる。

### 【0061】

本発明にかかる水素製造システムの起動にあたっては、高温水蒸気による系内の暖機運転から開始し、高温水蒸気電解装置を含むシステム内の温度が安定した後に、還元性ガスを投入することが好ましい。また、高温水蒸気電解装置からの生成ガスから水素ガスを抽出する凝縮器には、予め水等の媒体を供給してから、高温水蒸気電解装置に還元性ガスを投入することが好ましい。この場合、高温水蒸気電解装置に供給する還元性ガスと、高温水蒸気、直流電力等のユーティリティ類の供給量は、本発明にかかる水素製造システム全体で水素製造能力の最適化を図るように制御して省エネルギー運転を図ることが好ましいことは言うまでもない。

### 【0062】

本発明にかかる水素製造システムの通常の停止操作は、還元性ガスの供給を停止した後に、各ユーティリティの供給を停止するという手順とすることが好ましい。なお、還元性ガスの供給停止後は、システム内の可燃性ガス濃度を下げる目的で、窒素ガスなどの不活性ガスでシステム内をバージアウトし、可燃性ガス濃度が所定の濃度以下に低下したことを確認した後に、さらに空気によって十分にシステム内を掃気することが好ましい。

### 【0063】

本発明にかかる水素製造システムにおいて、水素ガスを取り扱うため、安全性には十分に配慮することが必要であることは言うに及ばない。特に、高温水素ガスが生成される高温水蒸気電解装置では、空気や酸素といった酸化剤の混入の管理を監視装置類を多重に設けて行うと共に、水素ガスを取り扱う設備周辺には防爆仕様の計器を使うなど、安全に運転を監視することが好ましい。

### 【0064】

本発明にかかる水素製造システムの核となる高温水蒸気電解反応では、固体電解質隔膜を通って酸素イオンが移動するため、原理的に爆発等は考えられないが、供給ガスや生成ガスが可燃性ガスであり、且つ高温状態で扱われるため、万一反応器の破壊等の事故が起こった場合には、還元性ガス等の供給を緊急遮断することにより瞬時に燃料源を絶ち、可燃性ガスが系外に漏洩しないよう緊急回避をすることが望ましい。また反応器が他のタイプの水素製造装置に比べて小容量であることから、システム全体の設備容量が小さくなるため、原料ガスを緊急遮断すると同時に、窒素ガス等の不活性ガス類を系内に緊急注入し

て可燃性原料を置換すれば、より安全性が高まる。

#### 【0065】

また、水素ガス等の燃料を扱うため、安全性に対しては天然ガスの場合と同様に、準規格等に十分配慮した設備や運用方法が適用されることが好ましいことは言うまでもない。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0066】

本発明は、水電解に必要な電気エネルギーの一部を熱エネルギーで補うことにより、これまで電力を多く必要とした他の水電解法に比べ、小電力でありエネルギー効率が高い。さらに高純度の水素が製造されるという特徴を有しているため、水素製造装置の後段に改質装置が不要であり、直接燃料電池用に使用することのできる高純度な水素を製造することができる。また、原料ガスが生成されるプロセスは、通常、熱源を併せ持つプロセスが多いため、原料ガスと熱や電力を比較的同一のガス発生プロセス内で調達できるという特徴も有しており、経済的な水素製造方法である。本発明は、来るべく水素高度利用社会における水素の製造方法として、経済的で高効率であるため、大量な需要にも適した製造方法と言える。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0067】

【図1】本発明にかかる水素製造システムにおいて使用される高温水蒸気電解装置の概念を示す図である。

【図2】本発明の一態様にかかる水素製造システムの概念を示すフロー図である。

【図3】本発明の他の態様にかかる水素製造システムの概念を示すフロー図である。

【図4】本発明の他の態様にかかる水素製造システムの概念を示すフロー図である。

【図5】本発明の他の態様にかかる水素製造システムの概念を示すフロー図である。

【図6】本発明の他の態様にかかる水素製造システムの概念を示すフロー図である。

【図7】本発明の他の態様にかかる水素製造システムの概念を示すフロー図である。

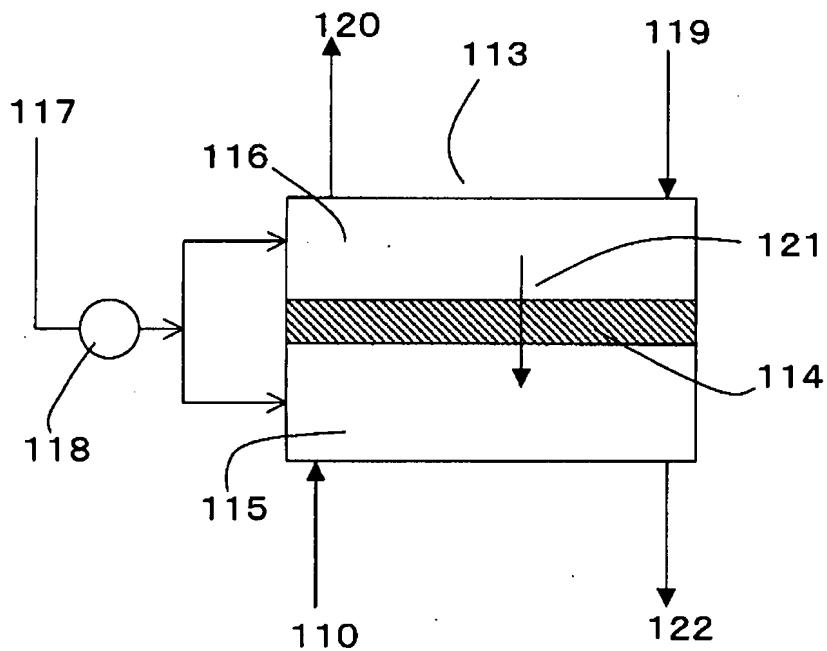
【図8】本発明の他の態様にかかる水素製造システムの概念を示すフロー図である。

【図9】本発明の他の態様にかかる水素製造システムの概念を示すフロー図である。

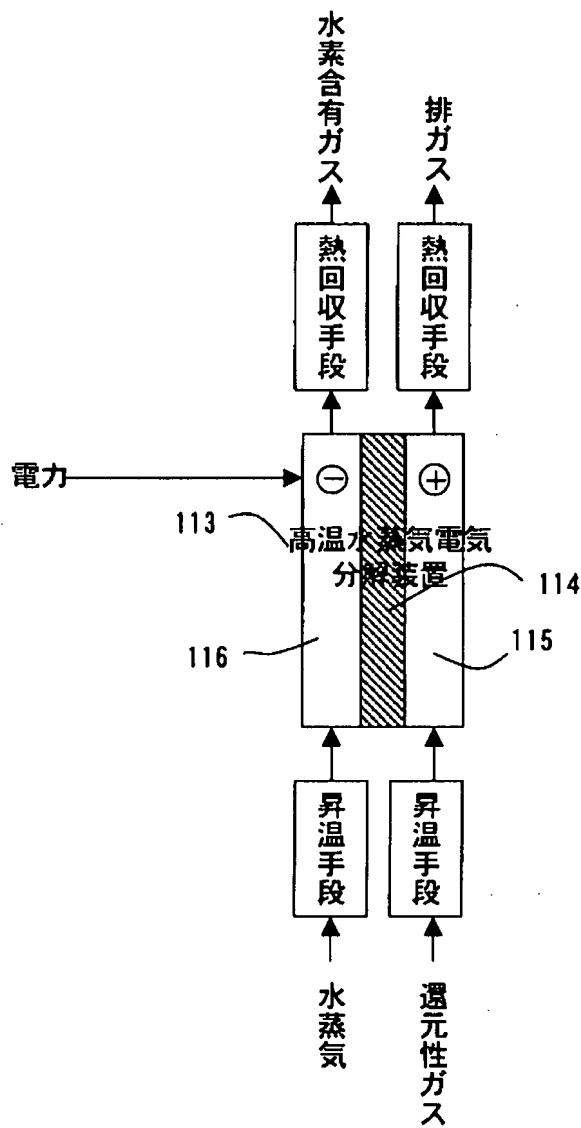
【図10】本発明の他の態様にかかる水素製造システムの概念を示すフロー図である。

【図11】本発明の他の態様にかかる水素製造システムの概念を示すフロー図である。

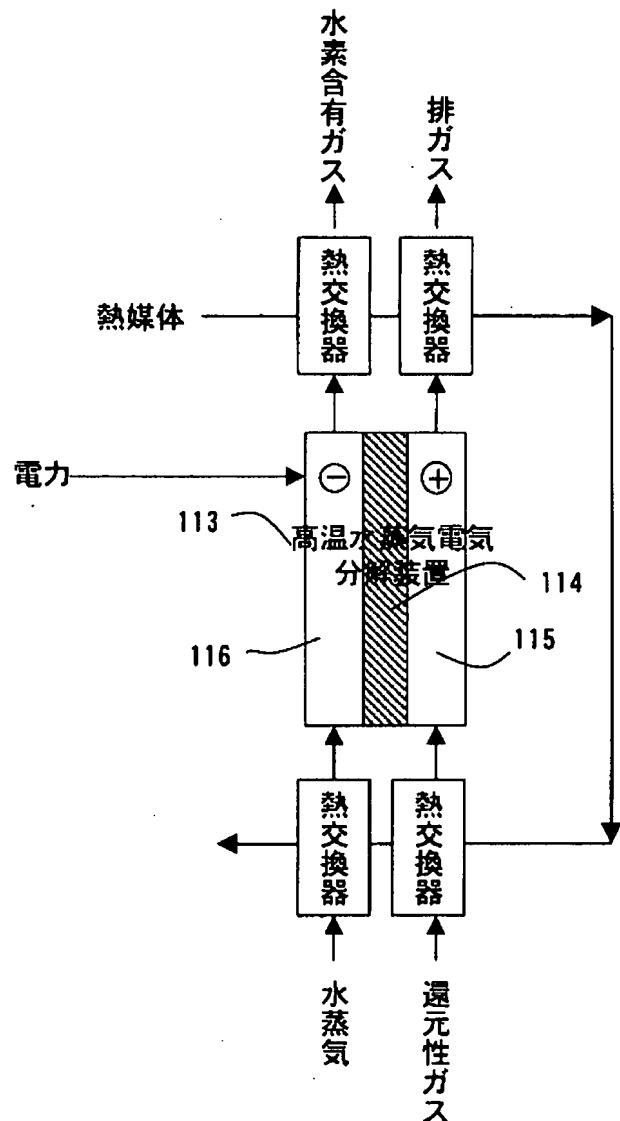
【書類名】 図面  
【図 1】



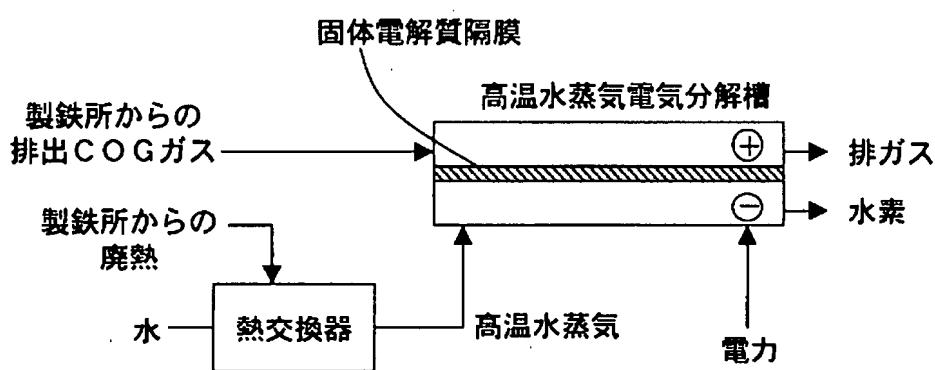
【図2】



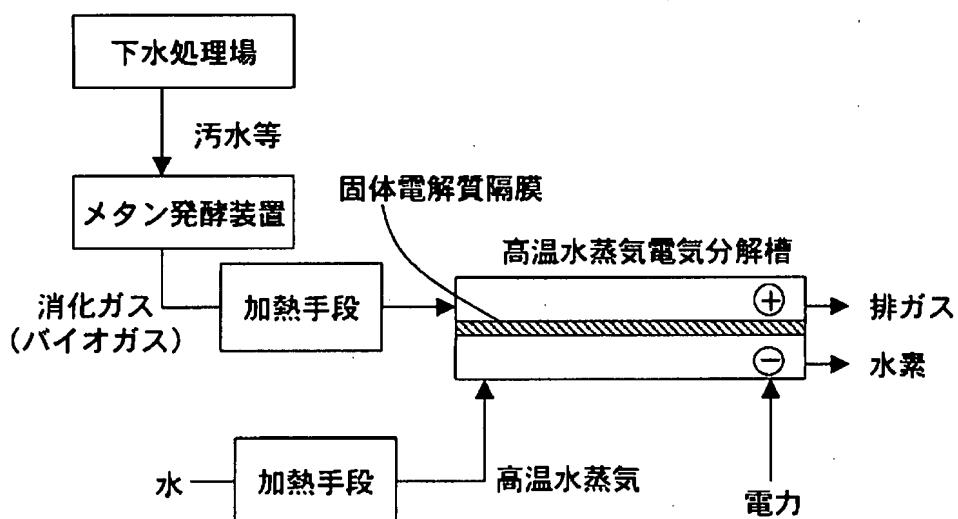
【図 3】



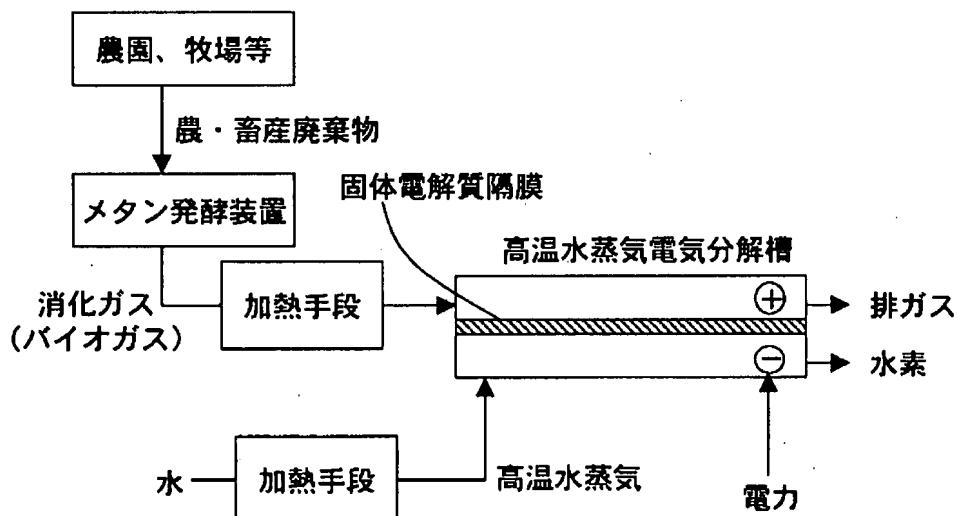
【図 4】



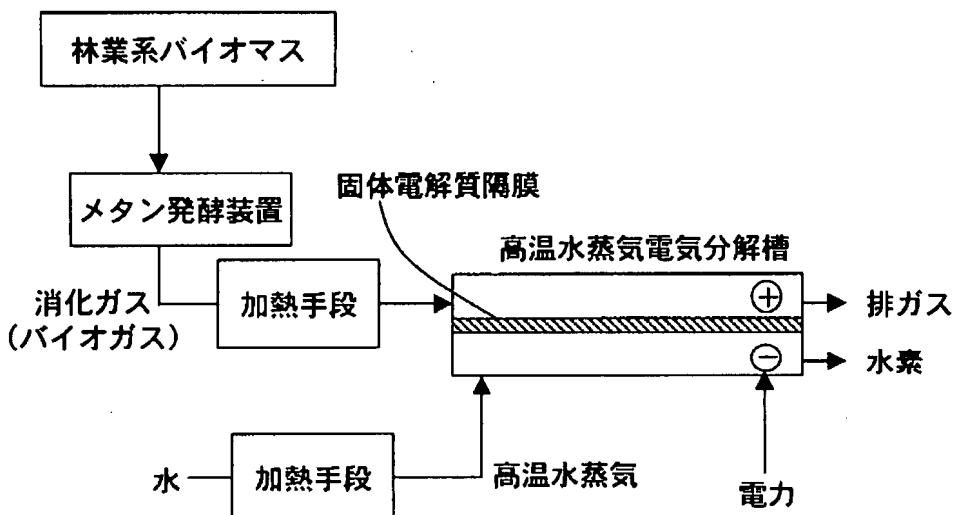
【図 5】



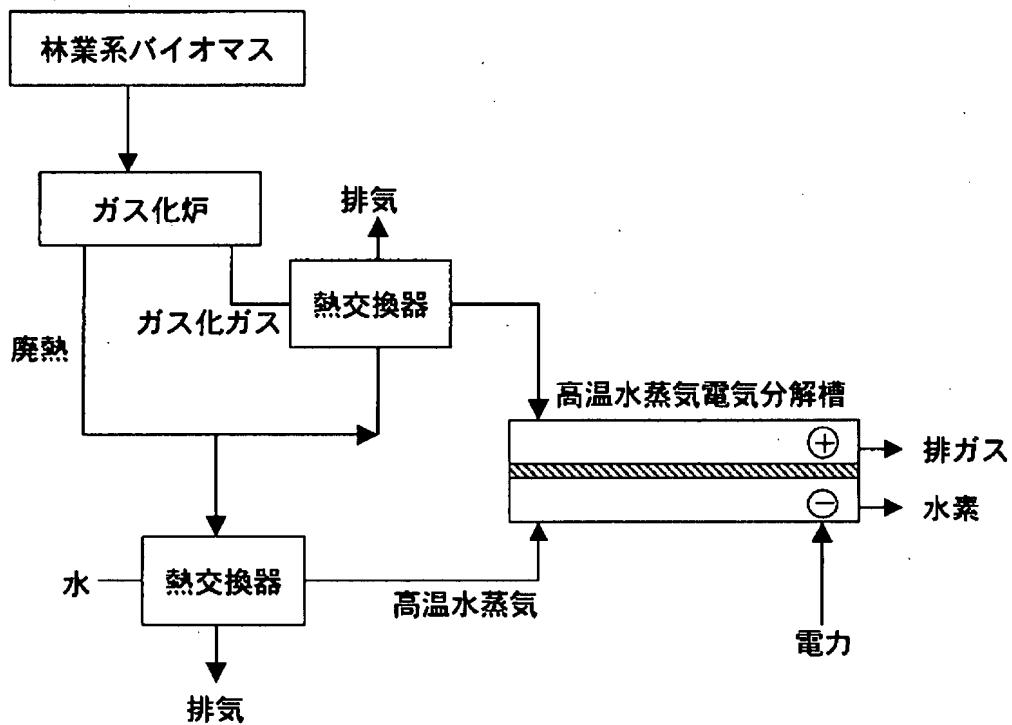
【図 6】



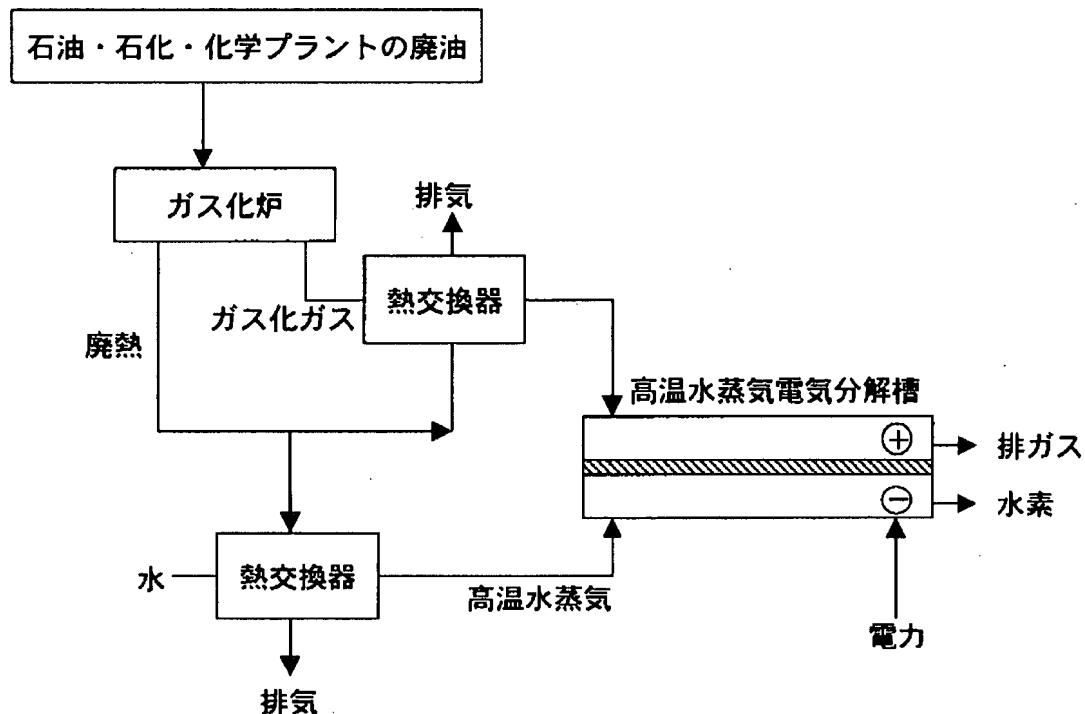
【図 7】



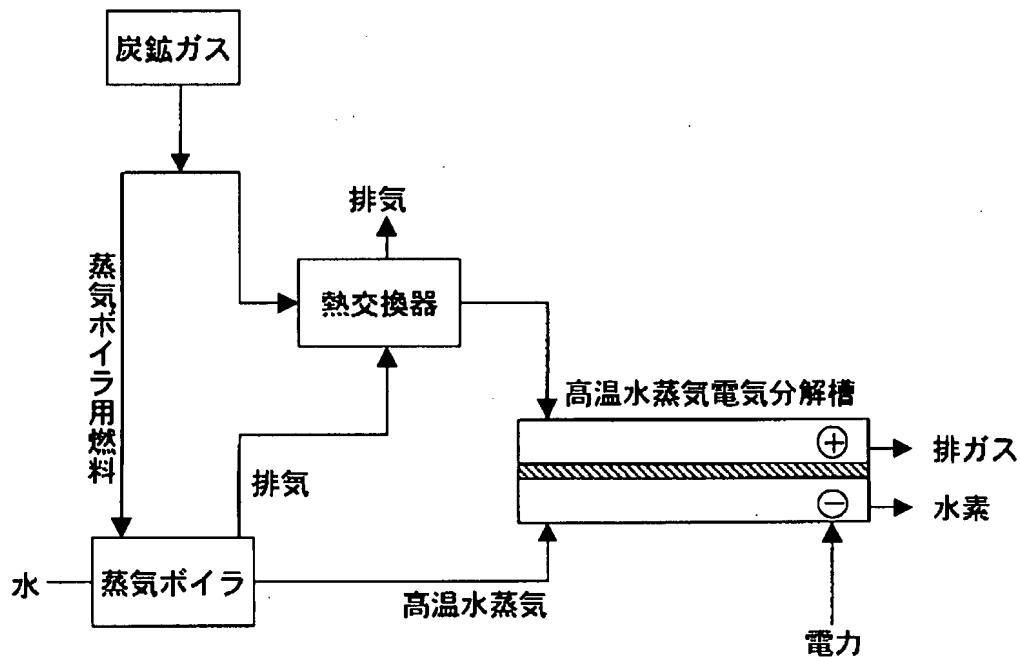
【図8】



【図9】



【図 10】



【図 1-1】

